(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108708835 A
(43)申请公布日 2018.10.26

(21)申请号 201810463152.3

(22)申请日 2018.05.15

(71)申请人 华北电力大学
地址 102206 北京市昌平区朱辛庄北农路2号

(72)发明人 段立强 王振

(74)专利代理机构 北京众合诚成知识产权代理有限公司 11246
代理人 李全旺

(51)Int.Cl.
F03G 6/06(2006.01)
F02C 6/18(2006.01)

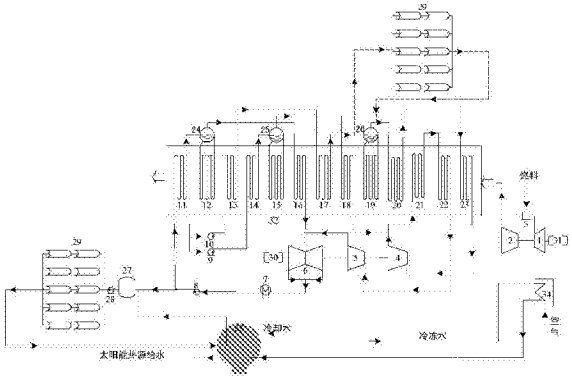
权利要求书1页 说明书6页 附图1页

(54)发明名称

一种冷却燃机进口空气的新型太阳能热互补联合循环发电系统

(57)摘要

本发明公开了一种冷却燃机进口空气的新型太阳能热互补联合循环发电系统。该发电系统由燃气蒸汽联合循环发电机组、槽式太阳能系统和单效溴化锂吸收式制冷机组组成。槽式太阳能系统吸收的太阳光热加热给水作为热源驱动单效溴化锂吸收式制冷机组工作产生冷冻水，冷冻水通过气-水换热器冷却燃机压气机的进口空气的温度，降低了高温环境下燃机进口空气的温度，使之稳定在5℃-10℃附近，以提高燃气蒸汽联合循环发电机组中的燃气轮机热效率，增加经济效益。本发明的发电系统能提高了燃气蒸汽联合循环发电机组的做功功率和保证较高的太阳能光电效率，易于操作维护，充分利用可再生能源，保护环境。



CN 108708835 A

1.一种冷却燃机进口空气的新型太阳能热互补联合循环发电系统，其特征是：燃机压气机(1)通过燃机燃烧室(3)与燃机透平(2)连接；燃机压气机(1)、燃机透平(2)与第二发电机(31)共轴连接；单效溴化锂吸收式制冷机组(33)的冷冻水出口经气-水换热器(34)与燃机压气机(1)的入口连接；燃机透平(2)的出口与三压再热余热锅炉(32)的入口连接；汽轮机低压缸(6)的出口经冷凝器(7)、低压给水泵(8)、低压省煤器(11)、低压汽包(24)、低压蒸发器(12)、低压过热器(16)与汽轮机低压缸(6)的入口连接；低压省煤器(11)的出口经高压给水泵(10)、第一级高压省煤器(13)、第二级高压省煤器(17)、高压汽包(26)、高压蒸发器(19)、第一级高压过热器(20)、第二级高压过热器(23)与汽轮机高压缸(4)的入口连接；第二级高压省煤器(17)的出口经槽式太阳能系统(29)与第一级高压过热器(20)的入口连接；低压省煤器(11)的出口经中压给水泵(9)、中压省煤器(14)、中压汽包(25)、中压蒸发器(15)、中压过热器(18)与第一级再热器(21)、第二级再热器(22)的入口连接；汽轮机高压缸(4)的出口与第一级再热器(21)的入口连接；第二级再热器(22)的出口与汽轮机中压缸(5)的入口连接；汽轮机中压缸(5)的出口与汽轮机低压缸(6)的入口连接；汽轮机高压缸(4)、汽轮机中压缸(5)、汽轮机低压缸(6)与第一发电机(30)共轴连接；低压给水泵(8)的出口经膨胀水箱(27)、给水泵(28)、槽式太阳能系统(29)与单效溴化锂吸收式制冷机组(33)的热源水入口连接。

2.根据权利要求1所述的一种冷却燃机进口空气的新型太阳能热互补联合循环发电系统，其特征在于，经所述单效溴化锂吸收式制冷机组(33)的冷却，可使燃机压气机(1)的进口空气温度冷却至5℃-10℃。

3.根据权利要求1所述的一种冷却燃机进口空气的新型太阳能热互补联合循环发电系统，其特征在于，所述槽式太阳能系统(29)是槽式聚光集热镜场(29)。

4.根据权利要求1或3所述的一种冷却燃机进口空气的新型太阳能热互补联合循环发电系统，其特征在于，所述单效溴化锂吸收式制冷机组(33)、气-水换热器(34)、膨胀水箱(27)、给水泵(28)、槽式聚光集热镜场(29)、冷凝器(7)组成太阳能单效溴化锂吸收式制冷子系统；单效溴化锂吸收式制冷机组(33)以槽式聚光集热镜场(29)中收集的太阳能热加热的给水作为热源驱动制冷机组工作产生冷冻水通过气-水换热器(34)冷却燃机压气机(1)的进口空气的温度。

5.根据权利要求1或3所述的一种冷却燃机进口空气的新型太阳能热互补联合循环发电系统，其特征在于，所述燃机压气机(1)的进口空气温度冷却至5℃-10℃时，第二级高压省煤器(17)出口处的给水分成两股，一股流进高压蒸发器(19)；另一股流经槽式聚光集热镜场(29)吸收太阳光热，达到与高压蒸发器(19)出口蒸汽温度相同温度后，与高压蒸发器(19)的出口蒸汽混合后进入第一级高压过热器(20)过热。

6.根据权利要求1或3所述的一种冷却燃机进口空气的新型太阳能热互补联合循环发电系统，其特征在于，所述低压给水泵(8)的出口处的给水分两股，一股流进低压省煤器(11)；另一股流经膨胀水箱(27)、给水泵(28)、槽式聚光集热镜场(29)吸收太阳光热作为驱动单效溴化锂吸收式制冷机组(33)的热源给水。

一种冷却燃机进口空气的新型太阳能热互补联合循环发电系统

技术领域

[0001] 本发明属于太阳能与燃气轮机联合发电技术领域，特别涉及一种太阳能热互补联合循环发电系统。

背景技术

[0002] 能源衰竭与环境污染是当今社会面临的主要问题之一，可再生能源利用是解决该问题的有效途径。国内外许多学者认为太阳能热发电技术是未来最有发展前景的可再生能源发电技术之一。将太阳热能与燃气蒸汽联合循环机组集成互补，可以起到提高机组效率、节省燃料、有效利用新能源等作用。国际上将这种系统称为“太阳能热互补的联合循环”。

[0003] 对燃气蒸汽联合循环机组中的燃气轮机(以下简称燃机)而言，环境温度每升高1℃，出力将下降0.5%～0.9%。并且随着大气温度升高，压气机耗功增加，在燃机输出功率降低的同时，燃机热效率随之降低，热耗增加。环境温度每升高1℃，热耗将增加0.2%～0.3%。本发明提出了一种冷却燃机进口空气的新型太阳能热互补联合循环发电系统，降低燃机进口空气的温度，使之稳定在一定温度附近，与传统太阳能热互补联合循环系统相比，具有较高的热力学优势和经济性优势。

发明内容

[0004] 本发明的目的是设计一种冷却燃机进口空气的新型太阳能热互补联合循环发电系统，降低燃机进口空气的温度，使之稳定在一定温度附近，以提高燃气蒸汽联合循环发电机组中的燃气轮机热效率，增加经济效益。

[0005] 本发明的技术方案是一种冷却燃机进口空气的新型太阳能热互补联合循环发电系统，燃机压气机(1)通过燃机燃烧室(3)与燃机透平(2)连接；燃机压气机(1)、燃机透平(2)与第二发电机(31)共轴连接；单效溴化锂吸收式制冷机组(33)的冷冻水出口经气-水换热器(34)与燃机压气机(1)的入口连接；燃机透平(2)的出口与三压再热余热锅炉(32)的入口连接；汽轮机低压缸(6)的出口经冷凝器(7)、低压给水泵(8)、低压省煤器(11)、低压汽包(24)、低压蒸发器(12)、低压过热器(16)与汽轮机低压缸(6)的入口连接；低压省煤器(11)的出口经高压给水泵(10)、第一级高压省煤器(13)、第二级高压省煤器(17)、高压汽包(26)、高压蒸发器(19)、第一级高压过热器(20)、第二级高压过热器(23)与汽轮机高压缸(4)的入口连接；第二级高压省煤器(17)的出口经槽式太阳能系统(29)与第一级高压过热器(20)的入口连接；低压省煤器(11)的出口经中压给水泵(9)、中压省煤器(14)、中压汽包(25)、中压蒸发器(15)、中压过热器(18)与第一级再热器(21)、第二级再热器(22)的入口连接；汽轮机高压缸(4)的出口与第一级再热器(21)的入口连接；第二级再热器(22)的出口与汽轮机中压缸(5)的入口连接；汽轮机中压缸(5)的出口与汽轮机低压缸(6)的入口连接；汽轮机高压缸(4)、汽轮机中压缸(5)、汽轮机低压缸(6)与第一发电机(30)共轴连接；低压给水泵(8)的出口经膨胀水箱(27)、给水泵(28)、槽式太阳能系统(29)与单效溴化锂吸收式制

冷机组(33)的热源水入口连接。

[0006] 经所述单效溴化锂吸收式制冷机组(33)的冷却，可使燃机压气机(1)的进口空气温度冷却至5℃-10℃。

[0007] 所述槽式太阳能系统(29)是槽式聚光集热镜场(29)。

[0008] 所述单效溴化锂吸收式制冷机组(33)、气-水换热器(34)、膨胀水箱(27)、给水泵(28)、槽式聚光集热镜场(29)、冷凝器(7)组成太阳能单效溴化锂吸收式制冷子系统；单效溴化锂吸收式制冷机组(33)以槽式聚光集热镜场(29)中收集的太阳能热加热的给水作为热源驱动制冷机组工作产生冷冻水通过气-水换热器(34)冷却燃机压气机(1)的进口空气的温度。

[0009] 所述燃机压气机(1)的进口空气温度冷却至5℃-10℃时，第二级高压省煤器(17)出口处的给水分成两股，一股流进高压蒸发器(19)；另一股流经槽式聚光集热镜场(29)吸收太阳光热，达到与高压蒸发器(19)出口蒸汽温度相同温度后，与高压蒸发器(19)的出口蒸汽混合后进入第一级高压过热器(20)过热。

[0010] 所述低压给水泵(8)的出口处的给水分两股，一股流进低压省煤器(11)；另一股流经膨胀水箱(27)、给水泵(28)、槽式聚光集热镜场(29)吸收太阳光热作为驱动单效溴化锂吸收式制冷机组(33)的热源给水。

[0011] 本发明的所提供的一种冷却燃机进口空气的新型太阳能热互补联合循环发电系统具有以下优点：

[0012] 1.本发明的一种冷却燃机进口空气的新型太阳能热互补联合循环发电系统，利用单槽式太阳能系统效溴化锂吸收式制冷机组(33)产生的冷冻水通过气-水换热器(34)冷却燃机压气机(1)的进口空气的温度，降低了高温环境下燃机进口空气的温度，使之稳定在5℃-10℃附近，以提高燃气蒸汽联合循环发电机组中的燃气轮机热效率，增加经济效益。

[0013] 2.当进口空气温度冷却至5℃-10℃时，槽式聚光集热镜场(29)吸收的太阳光热用于加热第二级高压省煤器(17)出口处的一部分给水，使之成为高压蒸汽，达到与高压蒸发器(19)出口蒸汽温度相同温度后，与高压蒸发器(19)的出口蒸汽混合后进入第一级高压过热器(20)过热，提高了联合循环的做功功率和保证较高的太阳能光电效率。

[0014] 3.本发明的一种冷却燃机进口空气的新型太阳能热互补联合循环发电系统易于操作维护，充分利用可再生能源，保护环境。

附图说明

[0015] 图1为本发明的一种冷却燃机进口空气的新型太阳能热互补联合循环发电系统示意图。

[0016] 图中标号说明如下：

[0017] 1.燃机压气机、2.燃机透平、3.燃机燃烧室、4.汽轮机高压缸、5.汽轮机中压缸、6.汽轮机低压缸、7.冷凝器、8.低压给水泵、9.中压给水泵、10.高压给水泵、11.低压省煤器、12.低压蒸发器、13.第一级高压省煤器、14.中压省煤器、15.中压蒸发器、16.低压过热器、17.第二级高压省煤器、18.中压过热器、19.高压蒸发器、20.第一级高压过热器、21.第一级再热器、22.第二级再热器、23.第二级高压过热器、24.低压汽包、25.中压汽包、26.高压汽包、27.膨胀水箱、28.给水泵、29.槽式聚光集热镜场、30.第一发电机、31.第二发电机、32.

三压再热余热锅炉、33.单效溴化锂吸收式制冷机组、34.气-水换热器。

具体实施方式

[0018] 为使本发明实施的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行更加详细的描述。

[0019] 实施例

[0020] 图1为本实施例所述的一种冷却燃机进口空气的新型太阳能热互补联合循环发电系统示意图。燃机压气机1通过燃机燃烧室3与燃机透平2连接；燃机压气机1、燃机透平2与第二发电机31共轴连接；单效溴化锂吸收式制冷机组33的冷冻水出口经气-水换热器34与燃机压气机1的入口连接；燃机透平2的出口与三压再热余热锅炉32的入口连接；汽轮机低压缸6的出口经冷凝器7、低压给水泵8、低压省煤器11、低压汽包24、低压蒸发器12、低压过热器16与汽轮机低压缸6的入口连接；低压省煤器11的出口经高压给水泵10、第一级高压省煤器13、第二级高压省煤器17、高压汽包26、高压蒸发器19、第一级高压过热器20、第二级高压过热器23与汽轮机高压缸4的入口连接；第二级高压省煤器17的出口经槽式聚光集热镜场29与第一级高压过热器20的入口连接；低压省煤器11的出口经中压给水泵9、中压省煤器14、中压汽包25、中压蒸发器15、中压过热器18与第一级再热器21、第二级再热器22的入口连接；汽轮机高压缸4的出口与第一级再热器21的入口连接；第二级再热器22的出口与汽轮机中压缸5的入口连接；汽轮机中压缸5的出口与汽轮机低压缸6的入口连接；汽轮机高压缸4、汽轮机中压缸5、汽轮机低压缸6与第一发电机30共轴连接；低压给水泵8的出口经膨胀水箱27、给水泵28、槽式聚光集热镜场29与单效溴化锂吸收式制冷机组33的热源水入口连接。

[0021] 其中，单效溴化锂吸收式制冷机组33、气-水换热器34、膨胀水箱27、给水泵28、槽式聚光集热镜场29、冷凝器7组成太阳能单效溴化锂吸收式制冷子系统；单效溴化锂吸收式制冷机组33以槽式聚光集热镜场29中收集的太阳能热加热的给水作为热源驱动制冷机组工作产生冷冻水通过气-水换热器34冷却燃机压气机1的进口空气的温度。

[0022] 本实施例中采用PG9351FA型燃气轮机；空气在燃机压气机1中压缩，排入燃机燃烧室3与燃料混合燃烧；生成的高温高压烟气流入燃机透平2做功，之后排入三压再热余热锅炉32进行烟气余热再利用。

[0023] 汽轮机低压缸6乏汽，经冷凝器7冷凝以及低压给水泵8初步升压后排入三压再热余热锅炉32中，给水流经低压省煤器11后分流：一股给水流经低压汽包24、低压蒸发器12以及低压过热器16，从过冷水转变成过热蒸汽，并与汽轮机中压缸5排汽混合进入汽轮机低压缸6做功；另一股给水由中压给水泵9升压后，流经中压省煤器14、中压汽包25、中压蒸发器15、中压过热器18，从过冷水转变成过热蒸汽并与汽轮机高压缸4排汽混合后进入第一级再热器21与第二级再热器22再热，再热蒸汽流经汽轮机中压缸5做功；最后一股给水由高压给水泵10升压后，流经第一级高压省煤器13、第二级高压省煤器17、高压汽包26、高压蒸发器19以及第一级高压过热器20、第二级高压过热器23，从过冷态转变成过热态，并流经汽轮机高压缸4做功。

[0024] 汽轮机高压缸4、汽轮机中压缸5、汽轮机低压缸6通过轴连接第一发电机30，将机械能转变成电能；燃机透平2、燃机压气机1通过轴连接第二发电机31，将机械能转变成电能。

[0025] 燃机压气机1的进口空气温度冷却至5℃-10℃附近时，可以将第二级高压省煤器17出口处的给水分成两股，本实施例中是进口空气温度冷却至5℃时，将第二级高压省煤器17出口处的给水分成两股，一股流进高压蒸发器19；另一股流经槽式聚光集热镜场29吸收太阳光热，达到与高压蒸发器19出口蒸汽温度相同温度后，与高压蒸发器19的出口蒸汽混合后进入第一级高压过热器20过热。增加联合循环的做功功率和保证较高的太阳能光电效率。

[0026] 低压给水泵8的出口处的给水分两股，一股流进低压省煤器11；另一股流经膨胀水箱27、给水泵28、槽式聚光集热镜场29吸收太阳光热作为驱动单效溴化锂吸收式制冷机组33的热源给水。

[0027] 单效溴化锂吸收式制冷机组33的制冷机组工作产生冷冻水通过气-水换热器(34)冷却燃机压气机(1)的进口空气的温度，降低了高温环境下燃机进口空气的温度，使之稳定在5℃-10℃附近，本实施例中是将进口空气温度冷却至5℃，以提高燃气蒸汽联合循环发电机组中的燃气轮机热效率，增加经济效益。

[0028] 燃机的燃料选用西气东输天然气，天气数据选用敦煌地区某一典型年数据；表1列出了热力学分析基础数据，表2列出了经济性分析基础数据。

[0029] 表1热力学分析基础数据

[0030]

	参数	数值		参数	数值
槽式镜面	宽度	5 m	燃机透平	进口温度	1318°C
（LS-2）	单片长度	47.1m		排气温度	609.1°C
	焦距	1.49m	燃机燃烧室	压损	0.03
	行间距	13 m	汽轮机透平	等熵效率(高/中/低)	0.875/0.895/0.89
	反射率	0.94	余热锅炉	节点温差	12°C
	洁净度	0.951		接近点温差	8°C
集热管	内直径	55mm		排烟温度	86.18°C
燃机压缩机	压损	0.01		蒸汽压力(高/中/低)	16.5/3.5/0.4 MPa
	压比	15.4		过热蒸汽温度(高/中/低)	565/350/265°C
	等熵效率	0.87	布雷顿循环	输出电功率	251.17MW
	机械效率	0.98		热发电效率	36.21%
燃机透平	压损	0.01	朗肯循环	输出电功率	134.41MW
	等熵效率	0.9	联合循环	输出电功率	385.58MW
	机械效率	0.98		热发电效率	55.35%

[0031] 表2经济性分析基础数据

[0032]

投资成本	
单位槽式镜场成本（€/m²）	200
单位占地成本（€/m²）	2
单位导热油 Therminol VP-1 成本（€/kg）	2
建筑、工程以及突发事件附加费用率（%）	10
溴化锂成本(€/kg)	2
溴化锂吸收式制冷机机组(€/kW)	13
运行和维修	
槽式镜场年单位面积维修费用（€/m² year）	9
年运行维护设备占投资额的比重（%）	1
经济系数	
有效贴现率（%）	10
经济性生命周期（years）	15
通过膨胀率（%）	3
运行维护浮动利率（%）	1

[0033] 表3列出了热力学分析结果数据，表4列出了经济性分析结果数据。

[0034] 表3热力学分析结果数据

[0035]

	GTCC 系统	新型 ISCC 系统	传统 ISCC 系统
总发电量（MW·h）	3.34×10^6	3.38×10^6	3.36×10^6
太阳能净发电量（MW·h）	-	2.92×10^4	2.18×10^4
光-电转换净效率（%）	-	22.31	16.67
光-电转换㶲效率（%）	-	23.87	17.83

[0036] 表4经济性分析结果数据

[0037]

名称	数值
LCE (€/kWh)传统 ISCC 系统	0.239
LCE (€/kWh) 新型 ISCC 系统	0.179

[0038] 结合表3与表4显示的结果可以看出，本实施例的冷却燃机进口空气的新型太阳能热互补联合循环发电系统对应的总发电量为3.38×10^6MW·h，太阳能净发电量为2.92×10^4，太阳能平准化发电成本为0.179€/kWh，太阳能光电效率22.31%；传统太阳能热互补联合循环发电系统对应的总发电量为3.36×10^6MW·h(较冷却燃机进口空气的新型太阳能热互补联合循环发电系统低0.02×10^6MW·h)，太阳能净发电量为2.18×10^4(较冷却燃机进口空气的新型太阳能热互补联合循环发电系统低0.74×10^4MW·h)，太阳能平准化发电成本为0.239€/kWh(较冷却燃机进口空气的新型太阳能热互补联合循环发电系统高0.06€/kWh)，太阳能光电效率16.67%(较冷却燃机进口空气的新型太阳能热互补联合循环发电系统低5.64%)。

[0039] 因此，与传统太阳能热互补联合循环发电系统相比，本发明提出的冷却燃机进口空气的太阳能热互补联合循环发电系统具有显著的热力学集成优势和经济性优势。

[0040] 本发明提出的一种冷却燃机进口空气的新型太阳能热互补联合循环发电系统，通过槽式太阳能子系统中收集的太阳能热作为单效溴化锂吸收式制冷机组的热源，省去了制

冷机组燃料的消耗；通过单效溴化锂吸收式制冷机组产生的冷冻水冷却燃机压气机进气空气的温度，减少了压气机的耗功，提高了燃机的效率；燃机压气机进气空气的温度降至5℃-10℃后，将多余槽式聚光集热镜场收集的太阳能热集成至余热锅炉内部高压蒸发器，可增加联合循环的做功功率和保证较高的太阳能光电效率。

[0041] 最后需要指出的是：以上实施例仅用以说明本发明的技术方案，而非对其限制。尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明，本领域的普通技术人员应当理解：其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改，或者对其中部分技术特征进行等同替换；而这些修改或者替换，并不使相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围。

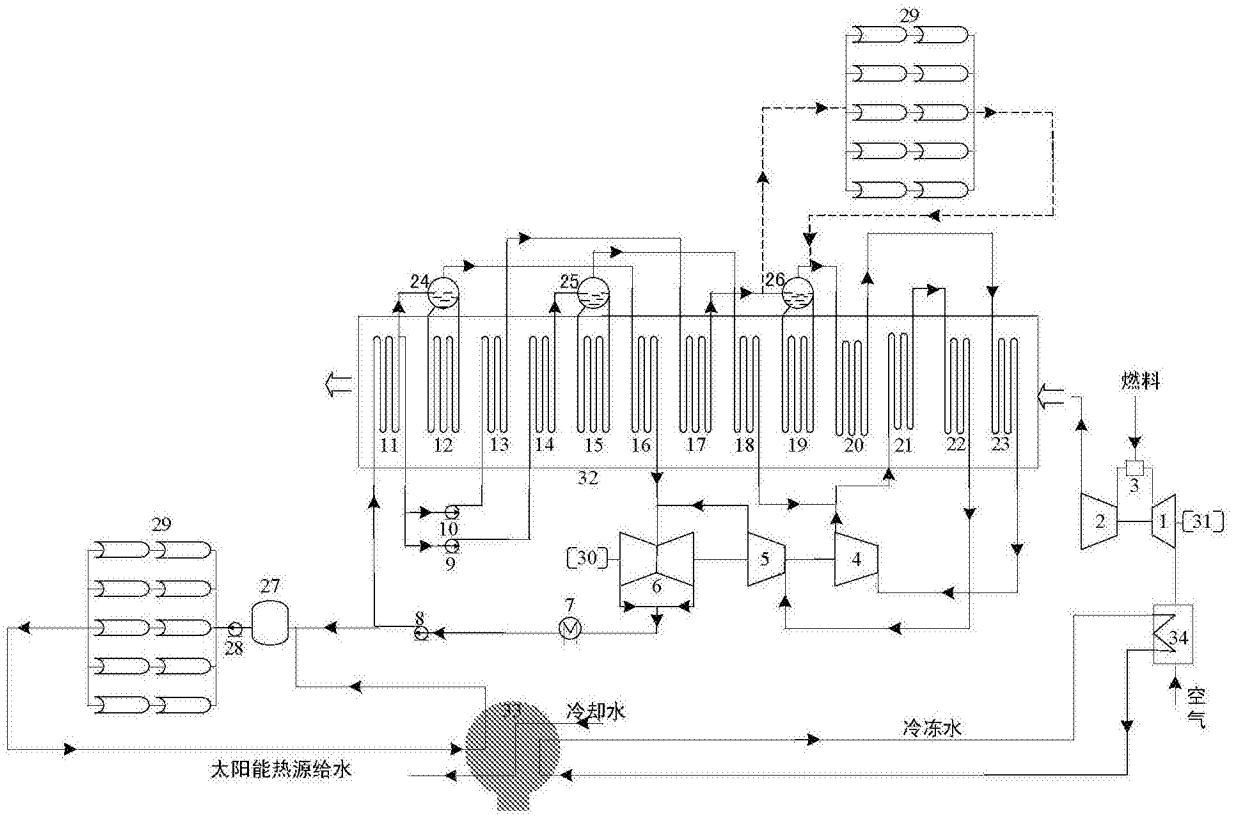

29
24
25
26
燃料
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
32
3
2
1
31
10
9
30
6
5
4
29
27
28
8
7
34
空气
33
冷却水
冷冻水
太阳能热源给水

图1